

Um Modelo Conceitual para Integração de Modelos Científicos e Informação Geográfica

SÍLVIO LUÍS RAFAELI NETO¹

MARCOS RODRIGUES²

¹UDESC - Universidade do Estado de Santa Catarina, CP 281, 88501-000, Lages, SC, Brasil

silvion@cav.udesc.br

²Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

marcos@cartaconsultoria.com.br

Abstract. This paper proposes the STEP model for model base structuring and management. It is an effort to capture processes evolving transport of mass and energy in cascading systems. For capturing morphological systems a number of spatial databases concepts are presented. The SDSS concept, components, properties, associations, and states are included.

1 Introdução

Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) são sistemas tradicionalmente empregados para apoiar decisores na solução de problemas mal estruturados, relacionados com as Ciências do Gerenciamento e Pesquisa Operacional. Nestes domínios, a referência espacial da informação usualmente é negligenciada no processo de tomada de decisão, ou então assume papel secundário. Apesar da ampla base teórica disponível sobre estes sistemas (Bonczek, Holsapple & Whinston, 1980; Sprague Jr. & Watson, 1991; Sage, 1991; Turban, 1995, Porto & Azevedo, 1997), ainda há uma carência muito grande de delineamento teóricos eficazes quanto à solução de problemas espaciais.

Modelos científicos (MC) são representações matemáticas de processos de domínios do mundo real. No domínio de sistemas geográficos tais processos representam o fluxo de massa ou energia entre os componentes físicos do sistema. Por exemplo, o fluxo da água numa bacia hidrográfica pode ser entendida como um processo que ocorre junto a entidades físicas como rios, lagos, solo, subsolo, e outros. Outros fluxos como de pessoas, de mercadorias, de automóveis, elétrons podem ser modelados matematicamente em suas respectivas áreas especializadas. Apesar de já haver modelos que procuram representar pequenas porções do domínio geográfico, em sua maioria tais modelos não consideram a referência espacial da informação. Nesta abordagem, os processos geográficos são modelados num alto nível de generalização, onde diversos subprocessos ficam reduzidos a um conjunto mínimo de parâmetros matemáticos. Uma de suas conseqüências é a falta de representatividade do modelo e, por conseguinte, aumento do risco da decisão.

A tecnologia normalmente utilizada para lidar com informação espacial é a dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Apesar da sua maturidade conceitual e tecnológica (Laurini & Thompson, 1992; Goodchild, 1992), estes sistemas apresentam capacidade limitada em prestar suporte a todas as etapas de processos decisórios para a solução de problemas espaciais (Wellar, Cameron & Sawada, 1994). Estes sistemas são mais adequados para auxiliar a etapa de inteligência, na qual o decisor procura diagnosticar o problema e falham no suporte às etapas de projeto (geração de alternativas) e de escolha (seleção de alternativas ou cursos de ação).

Durante muitos anos os campos da modelagem científica e da informação geográfica desenvolveram-se em paralelo como meios de suporte a decisões organizacionais. De um lado os SIG permitem a coleta, armazenamento, manipulação e apresentação de dados geográficos; de outro os softwares de modelagem científica permitem entendimento, análises, experimentações e geração de alternativas de solução ao oferecerem ao decisor um ambiente virtual relativo aos processos geográficos.

Há cerca de 10 anos, pesquisadores e desenvolvedores de produtos têm procurado integrar as funcionalidades positivas de ambas, no sentido de melhorar a qualidade da decisão quanto a problemas espaciais. Sistemas de Apoio à Decisão Espacial (SADE) são tecnologias emergentes de sistemas de informação que congregam funcionalidades de SIG e SAD, além de serem dotados de capacidade de modelagem científica de processos geográficos. Como um SAD, a arquitetura de SADE usualmente segue o paradigma DDM: dado, diálogo, modelo.

Este trabalho visa apresentar um modelo conceitual que possa nortear o desenvolvimento de Sistema de Apoio

à Decisão Espacial. A opção pela abordagem conceitual vem ao encontro da necessidade por delineamentos teóricos eficazes, em alto nível de abstração. Este nível se mostra necessário, num primeiro momento, na medida em que as abordagens puramente tecnológicas não têm conseguido produzir sistemas normativos e, num segundo momento, porque as subáreas integradas via tecnologias apresentam visões distintas da mesma realidade. Gerenciamento de Banco de Modelos em SADE é área infantil que requer pesquisas básicas, ao contrário do Gerenciamento de Bancos de Dados Espaciais. O modelo STEP pretende contribuir principalmente para a concepção do Banco de Modelos de um SADE e prover uma base teórica que possa melhorar sistemas atuais e orientar projetos de sistemas futuros.

2 Material

Para a construção do modelo STEP procurou-se selecionar um conjunto de ferramentas que possibilitassem a sua concepção, construção e expressão. Os critérios considerados na seleção foram:

- i. poder de abstração tanto no nível conceitual como tecnológico;
- ii. eficiência na definição dos elementos do sistema;
- iii. eficiência na identificação das propriedades dos elementos do sistema;
- iv. eficiência na identificação de relacionamentos;
- v. poder de consistência semântica durante a elaboração do modelo;
- vi. abordagem essencialmente científica.

Estes critérios foram analisados de forma empírica. Chegou-se à conclusão que o modelo ontológico de Wand (1996), a Teoria Geral de Sistemas e a Teoria de Conjuntos preenchiam os requisitos definidos acima. Maiores detalhes podem ser obtidos em Neto (2000)

3 Métodos

O modelo proposto resulta de abstrações que ocorrem em três níveis, orientados de forma distinta. No primeiro nível, orientado para o ser humano, utilizou-se do enfoque sistêmico para abstrair-se o domínio geográfico como sendo um sistema geográfico. Aproveitando a visão de Chorley & Kennedy (1971), admitiu-se que um sistema geográfico é composto por duas categorias de subsistemas. Uma relativa aos componentes estritamente físicos do mundo real (subsistema morfológico - SM) e outro aos componentes significativamente mais dinâmicos, representados pelos processos (subsistema em

casca - SC). O segundo nível de abstração foi orientado para a tecnologia computacional de suporte à decisão espacial. À partir da visão anterior, estabeleceu-se que elementos do subsistema morfológico seriam representados no Banco de Dados Espacial do SADE, enquanto que os elementos do subsistema em casca o seriam pelo Banco de Modelos. Um exemplo de uso desta arquitetura dual pode ser obtido em Maniezzo, Mendes & Paruccini (1998).

A visão por sistemas permitiu que fossem definidos elementos ou componentes tanto para o Banco de Modelos - BM como para o Banco de Dados Espacial - BDE. O modelo ontológico de Wand atuou em duas dimensões que tiveram reflexos significativos no modelo proposto. Numa possibilitou que um sistema geográfico ou um sistema computacional fosse visto como uma coisa composta de outras coisas e que ambas possuíam propriedades. Isto deu liberdade de raciocínio no sentido de não se ficar preso a conceitos da Teoria de Sistemas (a visão por "coisas" parece ser mais simples que a visão "por elementos"). Noutra forneceu alguns princípios, discriminados abaixo, que serviram de base para a formulação do comportamento de um sistema, chamado aqui de desempenho comportamental:

- i. "Um sistema pode ser visto como uma coisa simples ou como uma coisa composta feita de componentes que interagem".
- ii. "O estado do sistema pode ser mapeado nos estados das variáveis de articulação dos componentes".
- iii. "O comportamento do sistema emerge do comportamento e das interações de seus componentes".
- iv. "Eventos externos desencadeiam a propagação de eventos dentre os componentes via variáveis de estado de articulação".
- v. "O comportamento do sistema deve ser estudado com relação a um dado conjunto de eventos externos".

4 Modelo conceitual do banco de modelos

Por princípio, um banco de modelos é composto por MC de processos geográficos no espaço R^3 . Cada MC pode ser visto como um elemento de um sistema ou como uma coisa. Vendo-o como uma coisa é possível definir que um MC possui um conjunto de propriedades, e como um elemento de sistema é possível definir quais podem ser suas propriedades relevantes. Como representante de um sistema real um MC possui entrada, saída e limite ou regulador interno. Além destas propriedades intrínsecas,

um MC apresenta um certo comportamento que permite a ele modelar o sistema real. O comportamento pode ser desagregado em subcomportamentos. A estrutura de subcomportamentos de um MC define a estrutura conceitual do MC, e pode servir como estrutura referencial para qualquer MC no Banco de Modelos (Figura 1). Portanto, as propriedades identificadas como relevantes a um MC são:

- i. Insumos (Γ): corresponde ao que entra no sistema real, representado pelas variáveis independentes do MC;
- ii. Produto (P): corresponde ao que sai do sistema real, representado pelas variáveis dependentes do MC;
- iii. Desempenho (Δ): corresponde ao comportamento do sistema real, representado pelo conjunto de procedimentos que implementam o MC em computador;
- iv. Limite (Λ): corresponde aos reguladores do sistema que condicionam seu comportamento, e podem ser do tipo Conceitual (C), Paramétrico (Π), Contorno (X) ou Procedimental (Φ).
- v. Estrutura (H): corresponde aos níveis de desagregação do comportamento do modelo em subcomportamentos.

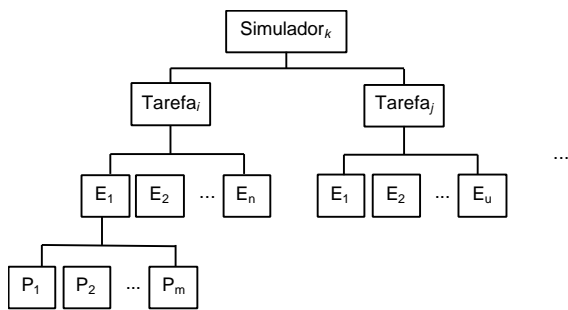


Figura 1 Arquitetura conceitual do modelo STEP.

À estrutura H foram atribuídos os seguintes rótulos: Simulador (S), Tarefa (T), Etapa (E), Procedimento (P) e Unidade Procedural (UP). Esta estrutura procura seguir o padrão de comportamento que um ser humano normalmente utiliza para resolver um problema. O Simulador representa este ser humano que tem em mãos um certo problema a ser resolvido. Evidentemente que não é possível resolver um problema, especialmente os espaciais, de uma só vez, em um só momento, por um único ato. É natural pensar, portanto, que tanto o ser humano como o computador deverão resolver tal problema de acordo com um número de tarefas, que cada

tarefa será executada em um número de etapas, que cada etapa será executada por um dado número de procedimentos e que, finalmente, um procedimento será implementado por um conjunto de subprocedimentos, denominados de unidades procedurais. A principal consequência deste modelo conceitual é a imposição de uma estrutura hierárquica ao Banco de Modelos. A raiz é o próprio banco de modelos que se desenvolve em um ou mais simuladores (S), estes em uma ou mais tarefas (T), e assim por diante.

O conceito de propriedade, intrínseca da ontologia de Wand, permite a que se estabeleça que qualquer elemento desta arquitetura deverá ser identificado por valores intrínsecos da tupla:

$$C_w = \langle H_w, \Gamma_w, \Lambda_w, \Delta_w, P_w \rangle \quad (1)$$

na qual C_w indica um elemento qualquer da estrutura STEP.

Limites Conceituais (C) são apresentados como forma de incrementar as informações relativas a um componente do BM. Estes limites são impostos pelo conhecimento especialista que se possui sobre o assunto, de modo que podem ser utilizados pelo Gerenciador do Banco de Modelos como forma de selecionar o componente que melhor se adapta a uma situação de problema. Limite do tipo Paramétrico (Π) é o valor ou conjunto de valores que compõem o corpo formal das relações matemáticas do MC. Contorno ou fronteira (X) é o valor ou conjunto de valores que impõem limiares de validade ao comportamento do MC. Limite do tipo procedimental (Φ) é o valor ou conjunto de valores que condicionam desempenhos comportamentais do sistema computacional, como número máximo de iterações, valores de critérios de convergência, e outros.

5 Níveis de informação e controle

Pela equação 1, qualquer elemento da estrutura STEP possui o mesmo conjunto de propriedades. Por exemplo, a etapa E_1 da tarefa T_i guarda uma certa posição (H) na hierarquia, possui um determinado conjunto de variáveis independentes (Γ), dependentes (P) e seu comportamento Δ é limitado por um conjunto de limites Λ . O mesmo vale para os demais componentes. Pelo modelo de Wand, uma coisa composta pode herdar propriedades das coisas simples que a compõem. Assim, os elementos de níveis superiores podem herdar as propriedades dos elementos dos níveis inferiores. Isto implica em que o conteúdo informativo intrínseco à uma etapa k qualquer também está disponível na sua respectiva tarefa. Quer dizer, os elementos de nível superior informam e realizam controle sobre os elementos de nível mais baixo. Um procedimento

P, por exemplo, informa e realiza controle sobre suas unidades procedurais, e assim por diante.

A propriedade Desempenho (Δ) é implementada por algoritmos junto às unidades procedurais. Nos demais níveis da estrutura STEP esta propriedade existe na forma de informação, ou seja, cada elemento de um nível da hierarquia informa o que realiza, o que é capaz de fazer, baseado nas informações que provém do nível imediatamente inferior.

A estrutura STEP, portanto, é também um modelo de estruturação do problema na medida em que a informação é agregada em diferentes níveis. A propriedade de agregar informação pelas diferentes camadas permite que se estabeleça níveis de abstração sobre o banco de modelos. Isso implica em que usuários com diferentes níveis de especialização possam utilizar o sistema. Usuários especialistas tendem a trabalhar em níveis inferiores e os menos especialista em níveis mais superiores. Desenvolvedores de MC devem possuir conhecimento profundo do domínio do problema e implementar novos modelos no nível de unidades procedurais.

6 Reutilização de componentes

O desempenho ou comportamento de um simulador pode variar quanto ao número de subcomponentes e quanto à ordem de execução. Os subcomponentes podem ser executados individualmente, coletivamente ou de forma compartilhada. A forma compartilhada foi prevista no modelo STEP para possibilitar a reutilização de componentes (Figura 2).

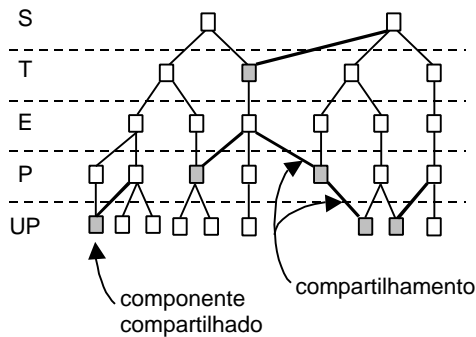


Figura 2 - Diagrama de reutilização de componentes.

Quanto à ordem de execução, o comportamento de um conjunto de componentes pode ser em série, paralelo ou simultâneo (Figuras 3 e 4). Na execução em série, a saída de um componente se constitui na entrada de outro componente de mesmo nível. Na execução paralela,

componentes de mesmo nível não interferem entre si. Em ambas, o estado de cada componente pode ser questionado e retornado ao usuário do sistema. Uma execução é dita simultânea quando um conjunto de componentes é executado, em paralelo ou em série, sem que estados intermediários possam ser acessados.

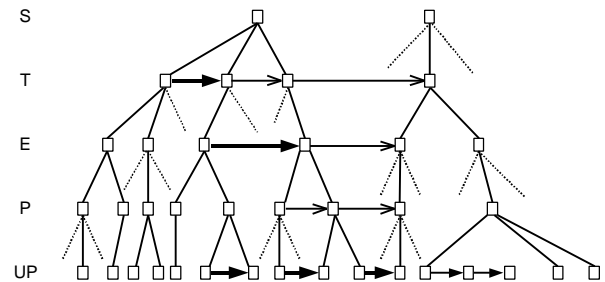


Figura 3 Execuções sequenciais e paralelas de componentes da estrutura STEP.

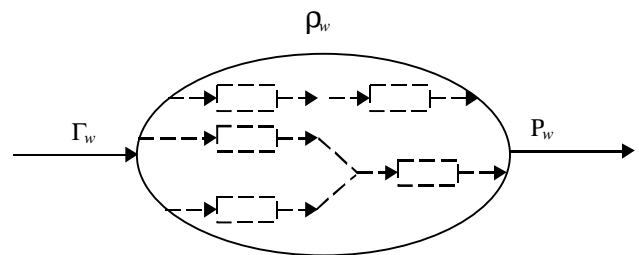


Figura 4 Execução simultânea.

7 Modelo conceitual do banco de dados espacial

Bancos de dados espaciais normalmente são tratados na Ciência da Informação Geográfica (Goodchild, 1992). Este trabalho faz uma tentativa de colocar a questão do BDE sob um enfoque estritamente conceitual, desvinculado tanto quanto possível dos jargões e paradigmas que permeiam esta área.

A idéia é de se pensar acima dos problemas tecnológicos atuais, na direção de uma estrutura conceitual compatível com a área da modelagem científica. Nesse sentido, partiu-se do que se convencionou chamar de percepção do domínio geográfico. A forma como este domínio é abstraído determina como as entidades espaciais serão modeladas e implementadas no BDE.

7.1 Propriedades de entidades espaciais de um sistema morfológico

A exemplo dos elementos de um sistema em cascata, as entidades de um sistema morfológico podem ser vistas

como coisas no espaço geográfico e, como tal, podem ser de natureza simples ou composta, possuir propriedades relevantes intrínsecas ou mútuas. As propriedades intrínsecas são especialmente importantes porque é através delas que uma entidade espacial é distinguida das demais. Por exemplo, considerando que uma entidade espacial seja representada por uma linha, então a posição no espaço é uma propriedade intrínseca da linha em relação a outras linhas porque nenhuma outra ocupa a mesma posição no espaço. Entretanto, se esta linha for visualizada então poderá possuir atributo de cor mútuo a outras linhas.

É proposta desta pesquisa que as propriedades relevantes de uma entidade espacial de um sistema morfológico sejam:

- i. **Conformação (Ψ)** ou geometria: é a propriedade que descreve a estrutura da forma de um elemento do SM no R3.
- ii. **Posição (Θ)**: é a situação do elemento em relação a um referencial no R3.
- iii. **Atributo (A)**: é uma característica consignada ao elemento por humanos.

Logo, uma entidade espacial (D_z) de um sistema morfológico é identificada por valores intrínsecos da tupla:

$$D_z = \langle \Psi_z, \Theta_z, A_z \rangle \quad (2)$$

7.2 Percepção de um sistema morfológico

No nível conceitual, um domínio geográfico pode ser percebido como sendo discreto ou contínuo. No nível de representação, as entidades espaciais deste domínio usualmente são modeladas de acordo com sua natureza pontual, linear ou poligonal. No nível de implementação, ponto, linha e polígono são as primitivas geométricas básicas correspondentes. Vale destacar que estas primitivas são, de uma forma ou de outra, utilizadas para representar entidades em ambas percepções. Por exemplo, grades triangulares irregulares (TIN) são elementos de representação discreta de fenômenos usualmente percebidos como contínuos, como o relevo topográfico.

7.3 Captura da percepção discreta e percepção contínua

Considerou-se que um BDE é composto, em essência, por elementos pontuais, lineares e poligonais. Pontos, linhas e polígonos são as primitivas geométricas que se estendem por todo o BDE em conjuntos distintos, conforme o modelo de representação espacial (Figura 5). Esta abordagem permite que se trabalhe num alto nível conceitual, sem restrição de implementação, o que ocorre

no nível da tecnologia. Esta visão não atribui nenhuma estrutura ao BDE, não omite nenhum de seus componentes e dá a liberdade necessária à abordagem conceitual.

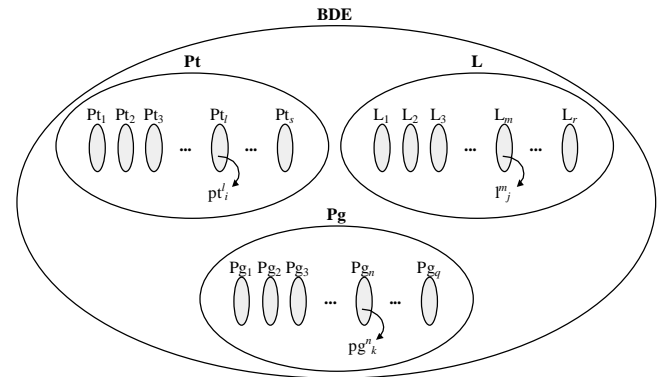


Figura 5 Componentes conceituais de um BDE.

A captura de entidades espaciais percebidas como discretas é realizada conforme sua natureza geométrica. Natureza pontual é representada por ponto, linear por linha e poligonal por polígono. Entidades espaciais percebidas como contínuas são capturadas por grupos de primitivas geométricas, em geral adjacentes. As classes usuais para representação de entidades espaciais contínuas são:

- i. Rede irregular triangular (TIN) é um subconjunto particular de t polígonos triangulares adjacentes (trg) do conjunto Pg, cuja propriedade Conformação (Ψ) não segue padrão definido.

$$TIN \subset Pg / TIN = \{trg_1, trg_2, \dots, trg_t\} \quad (3)$$

- ii. Subdivisão planar (SP) é um subconjunto particular de s polígonos quaisquer adjacentes (sp) do conjunto Pg, cuja propriedade Conformação (Ψ) não segue padrão definido.

$$SP \subset Pg / SP = \{sp_1, sp_2, \dots, sp_s\} \quad (4)$$

- iii. Grade regular (GR) é um subconjunto particular de m células poligonais adjacentes (c) do conjunto Pg, cuja propriedade Conformação (Ψ) segue padrão definido.

$$GR \subset Pg / GR = \{c_1, c_2, \dots, c_m\} \quad (5)$$

- iv. Grade irregular (GI) é um subconjunto particular de n células poligonais adjacentes (c) do conjunto Pg, cuja propriedade Conformação (Ψ) não segue padrão definido.

$$GI \subset Pg / GI = \{c_1, c_2, \dots, c_n\} \quad (6)$$

- v. Isolinha (Is) é um subconjunto particular de l linhas adjacentes (is) do conjunto L , em que não há padrão definido para sua conformação (Ψ), mas há um padrão definido para sua posição (Θ).

$$Is \subset L / Is = \{is_1, is_2, \dots, is_l\} \quad (7)$$

- vi. Amostra pontual (AP) é um subconjunto particular de a amostras pontuais (ap) do conjunto Pt , em que pode ou não haver padrão de posição (Θ).

$$AP \subset Pt / AP = \{ap_1, ap_2, \dots, ap_a\} \quad (8)$$

7.4 Topologia espacial

Topologia espacial exprime relacionamentos espaciais entre entidades espaciais com base em suas propriedades geométricas e posicionais. A natureza e número de relacionamentos são bem variados e depende dos objetivos práticos de uso do BDE. A nível conceitual exprimem vizinhanças, conectividades, continências, e outros. A nível de implementação são representados por grafos. Neste trabalho os componentes de um grafo (intersecção, linha, conjunto de ligações singulares e espaço vazio) são vistos como parte do BDE. Especificamente, estes elementos são subconjuntos dos conjuntos Pt , L e Pg , mapeados como nós (N), ligações (Lg) e células (C), respectivamente. Estes elementos também possuem as mesmas propriedades dos conjuntos Pt , L e Pg .

8 Associação entre MC e entidade espacial

Associação (Ω) entre MC e entidade espacial é implementada por associações entre componentes do Banco de Modelos e do Banco de Dados Espacial. Se uma associação ocorre a nível de componentes, e estes possuem determinadas propriedades, então uma associação a nível de componentes atinge também o nível de propriedades.

8.1 Associação a nível de componentes

Uma associação binária entre componentes pode ou não ocorrer por intermédio da estrutura topológica espacial. Os relacionamentos espaciais expressos numa estrutura topológica podem coincidir com os relacionamentos espaciais de um sistema em cascata. Por exemplo, admita-se que um rio seja modelado como um conjunto de linhas conectadas junto aos seus afluentes. O caminho do fluxo da água pode ou não estar explícito na topologia de conectividade das linhas que representam o rio. Um MC de simulação deste processo deverá conhecer este caminho, seja ele explícito na topologia espacial, seja ele construído particularmente para atender a este modelo. O

fator determinante de onde virá esta informação é o conjunto de objetivos do sistema.

Quadro 1 Níveis de associação binária entre componentes estruturais do BM e componentes estruturais do BDE.

Banco de Modelos	Banco de Dados Espacial		
	Pt	L	Pg
S	$S \leftrightarrow Pt$	$S \leftrightarrow L$	$S \leftrightarrow Pg$
T	$T \leftrightarrow Pt$	$T \leftrightarrow L$	$T \leftrightarrow Pg$
E	$E \leftrightarrow Pt$	$E \leftrightarrow L$	$E \leftrightarrow Pg$
P	$P \leftrightarrow Pt$	$P \leftrightarrow L$	$P \leftrightarrow Pg$
UP	$UP \leftrightarrow Pt$	$UP \leftrightarrow L$	$UP \leftrightarrow Pg$

8.2 Associação a nível de propriedades

Uma associação a nível de componentes implica que haja uma associação a nível de suas respectivas propriedades. Este princípio conduz a uma série de inferências que podem ser úteis na construção do SADE de acordo com os objetivos da organização. As possíveis associações binárias entre as propriedades respectivas dos elementos no BM e no BDE são:

- i. $H\Psi$ (estrutura-conformação): associação que permite determinar se a conformação de um componente de SM afeta o nível de estruturação do problema e vice-versa. Significa que a conformação de um componente de SM pode determinar quais ou quantos simuladores, tarefas, etapas e procedimentos serão necessários para solucionar o problema.
- ii. $H\Theta$ (estrutura-posição): associação que permite determinar se a posição de um componente de SM afeta o nível de estruturação do problema e vice-versa.
- iii. HA (estrutura-atributo): associação que permite determinar se algum atributo de um componente de SM afeta o nível de estruturação de um problema e vice-versa.
- iv. $\Gamma\Psi$ (insumo-conformação): associação que permite determinar se a conformação de um componente de SM influi sobre os elementos de entrada do SC e vice-versa.
- v. $\Gamma\Theta$ (insumo-posição): associação que permite determinar se a posição de um componente de SM influi sobre os elementos de entrada do SC e vice-versa.
- vi. ΓA (insumo-atributo): associação que permite determinar se algum atributo de um componente

de SM influi sobre os elementos de entrada do SC e vice-versa.

- vii. $\Lambda\Psi$ (limite-conformação): associação que permite determinar se a conformação de um componente de SM influi sobre limite conceitual, parâmetro de modelo, condição de contorno ou processamento computacional e vice-versa.
- viii. $\Lambda\Theta$ (limite-posição): associação que permite determinar se a posição de um componente de SM influi sobre limite conceitual, parâmetro de modelo, condição de contorno ou processamento computacional e vice-versa.
- ix. ΛA (limite-atributo): associação que permite determinar se algum atributo de um componente de SM influi sobre limite conceitual, parâmetro de modelo, condição de contorno ou processamento computacional e vice-versa.
- x. $\Delta\Psi$ (desempenho-conformação): associação que permite determinar se a execução do componente do SC (simulador, tarefa, etapa ou procedimento) é afetada pela conformação do componente do SM e vice-versa. Ver também associação $H\Psi$.
- xi. $\Delta\Theta$ (desempenho-posição): associação que permite determinar se a execução do modelo é afetada pela posição do componente do SM e vice-versa. Ver também associação $H\Theta$.
- xii. ΔA (desempenho-atributo): associação que permite determinar se a execução do modelo é afetada por algum atributo do componente do SM e vice-versa. Ver também associação HA .
- xiii. $P\Psi$ (produto-conformação): associação que permite determinar se uma solução ou solução parcial é afetada pela conformação do componente do SM e vice-versa.
- xiv. $P\Theta$ (produto-posição): associação que permite determinar se uma solução ou solução parcial é afetada pela posição do componente do SM e vice-versa.
- xv. PA (produto-atributo): associação que permite determinar se uma solução ou solução parcial é afetada por algum atributo do componente do SM e vice-versa.

A presença ou ausência de uma ou mais destas associações depende das percepções dos sistemas envolvidos. A percepção de um SC ou SM depende da aplicação à qual se destina, do nível de estruturação do problema, da natureza dos elementos que compõem o

sistema e do nível de detalhamento espacial desejado para estes elementos.

9 Estado do sistema

Estado (Σ) é o valor ou conjunto de valores das propriedades $H, \Gamma, \Lambda, \Delta, P$ de um elemento estrutural C_w (simulador, tarefa, etapa, procedimento), das propriedades Ψ, Θ e A de um elemento estrutural D_z (ponto, linha, polígono) e de suas respectivas associações binárias Ω , em um dado momento.

Uma transição ou mudança de estado é um evento que ocorre quando as propriedades de um elemento passam de um estado e_1 para um estado e_2 , através de um esquema funcional, restrito por leis de transição (Wand, 1996). Em um SADE este evento pode ser provocado pelo usuário, por entradas automáticas de variáveis independentes, ou através da execução dos algoritmos das unidades procedurais.

Ponto de estado é um local, na estrutura STEP, onde os estados de C_w, D_z e Ω podem ser verificados ou alterados. Os pontos de estado essenciais situam-se na entrada e na saída de um sistema.

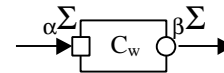


Figura 6 Pontos de estado de um elemento da estrutura STEP.

Estados α e β estão aptos a compor conjuntos de estados. Conjuntos de estados podem ser armazenados e, assim, representar a história dos estados do sistema.

10 Conclusão

Sistemas de Apoio à Decisão Espacial (SADE) são tecnologias emergentes que demandam estudos teóricos especialmente com relação ao Banco de Modelos e seus relacionamentos com o Banco de Dados Espacial. Este trabalho é um esforço no sentido de prover arcabouço teórico que sirva de orientação para a melhoria dos sistemas atuais e projetos de sistemas futuros.

A Teoria de Sistemas, Ontologia e Teoria de Conjuntos mostraram-se potencialmente úteis, do ponto de vista científico, e eficientes, do ponto de vista prático.

A Teoria de Sistemas proporcionou uma visão sistêmica dos problemas independente de domínio de aplicação. Sua visão por elementos ou componentes possibilitou uma estruturação relativamente rápida dos componentes de um SADE sem que se tivesse grandes conhecimentos em modelagem de dados. Permitiu que se trabalhasse separadamente a definição de componentes dos sistemas, suas associações e seus estados. Permitiu

ainda que a transição entre os níveis de abstração fosse feita de forma natural.

O modelo ontológico de Wand permitiu uma associação bem definida entre elementos de sistemas e coisas. Complementou o enfoque sistêmico através dos conceitos de coisa, propriedade, atributo, evento e estado, manteve-se nos mesmos níveis de abstração do enfoque sistêmico e mostrou flexibilidade para circular entre os níveis de abstração.

A Teoria de Conjuntos forneceu semântica precisa para expressar o modelo. Forneceu gramática de poder científico, semântico e entendimento universal necessários em trabalhos de pesquisa desta natureza. Sua gramática evitou o uso de jargões técnicos que permeiam áreas afins a área SADE, como SIG e modelagem científica. Manteve-se estável no nível conceitual e potencialmente pode ser facilmente estendida para o nível tecnológico. Permitiu identificar inconsistências e incongruências. Permitiu independência de domínio de aplicação, de tempo e de espaço (escala). Forneceu também dispositivos formais suficientes para a modelagem.

O modelo formal proposto incorpora os atributos da Teoria de Conjuntos de modo que pode sofrer análises de acordo com seus postulados, axiomas, teoremas, entre outros. Vem ao encontro da carência de delineamentos teóricos sobre o assunto e ajuda iniciantes a se familiarizarem e entenderem conceitos essenciais. A formalização dos componentes do BM e do BDE, bem como de suas propriedades, facilitou a formalização das associações e dos estados, respectivamente, independentemente de domínio de aplicação.

11 Referências

- [1] L. Bian, "Integrating environmental models and gis in the framework of gis interoperability", (1997), <http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/interop97/program/papers/bian.html>
- [2] R. H. Bonczek, C. W. Holsapple, A. B. Whinston, "The evolving roles of models in decision support systems", *Decision Sciences* 11 (1980), 337--356.
- [3] R. Chorley and B. Kennedy, *Physical geography: a systems approach*, London, Prentice-Hall, 1971.
- [4] M. A. Eierman, F. Niederman, C. Adams, "DSS theory: a model of constructs and relationships". *Decision Support Systems* 14 (1995), 1--26.
- [5] M. F. Goodchild, "Geographical information science", *I. J. Geographical Information Systems* 6 (1992), 31--45.
- [6] R. Laurini and D. Thompson, *Fundamentals of spatial information systems*. London, Academic Press, 1992.
- [7] V. Maniezzo, I. Mendes, M. Paruccini, "Decision support for sitting problems", *Decision Support Systems* 23 (1998), 273--284.
- [8] S. L. R. Neto, "Um modelo conceitual de sistema de apoio à decisão espacial para gestão de desastres por inundações", Tese de Doutorado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2000, 231p. <http://www.cav.udesc.br/~engrural/ie/professores/silvion/html/index.htm>
- [9] S. L. R. Neto and M. Rodrigues, "A taxonomy of strategies for developing spatial decision support systems" In W. Wojtkowski, W. G. Wojtkowski, S. Wrycza, J. Zupancic (ed.), *Systems development methods for databases, enterprise, modelling, and workflow management*. New York, Kluwer Academic/Plenum, 2000, 139--155.
- [10] R. L. L. Porto and L. G. T. Azevedo, "Sistemas de suporte a decisões aplicados a problemas de recursos hídricos" In R. L. L. Porto (org.), *Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos*, Porto Alegre, UFRGS-ABRH (1997), 43--95.
- [11] A. Sage, *Decision support systems engineering*, New York, Wiley & Sons, 1991.
- [12] H. A. Simon. *The new science of management decision*. New York, Harper and Row, 1960.
- [13] _____. "Prediction and prescription in systems modeling". *Operations Research* 38 (1990), 7--14.
- [14] R. H. Sprague Jr. and H. J. Watson, *Sistema de Apoio à Decisão: colocando a teoria em prática*. Rio de Janeiro, Campus, 1991.
- [15] D. Sui, and R. Maggio, "Integrating gis with hydrological modeling: practices, problems, and prospects" *Computers, Environment and Urban Systems* 23 (1999), 33--51.
- [16] E. Turban, *Decision support systems and expert systems*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1995.
- [17] Y. Wand, "Ontology as a foundation for meta-modeling and method engineering" *Information and Software Technology* 38 (1996), 281--287.
- [18] B. Wellar, N. Cameron, M. Sawada, "Progress in building linkages between gis and methods and techniques of scientific inquiry" *Computers, Environment and Urban Systems* 18 (1994), 67--80.